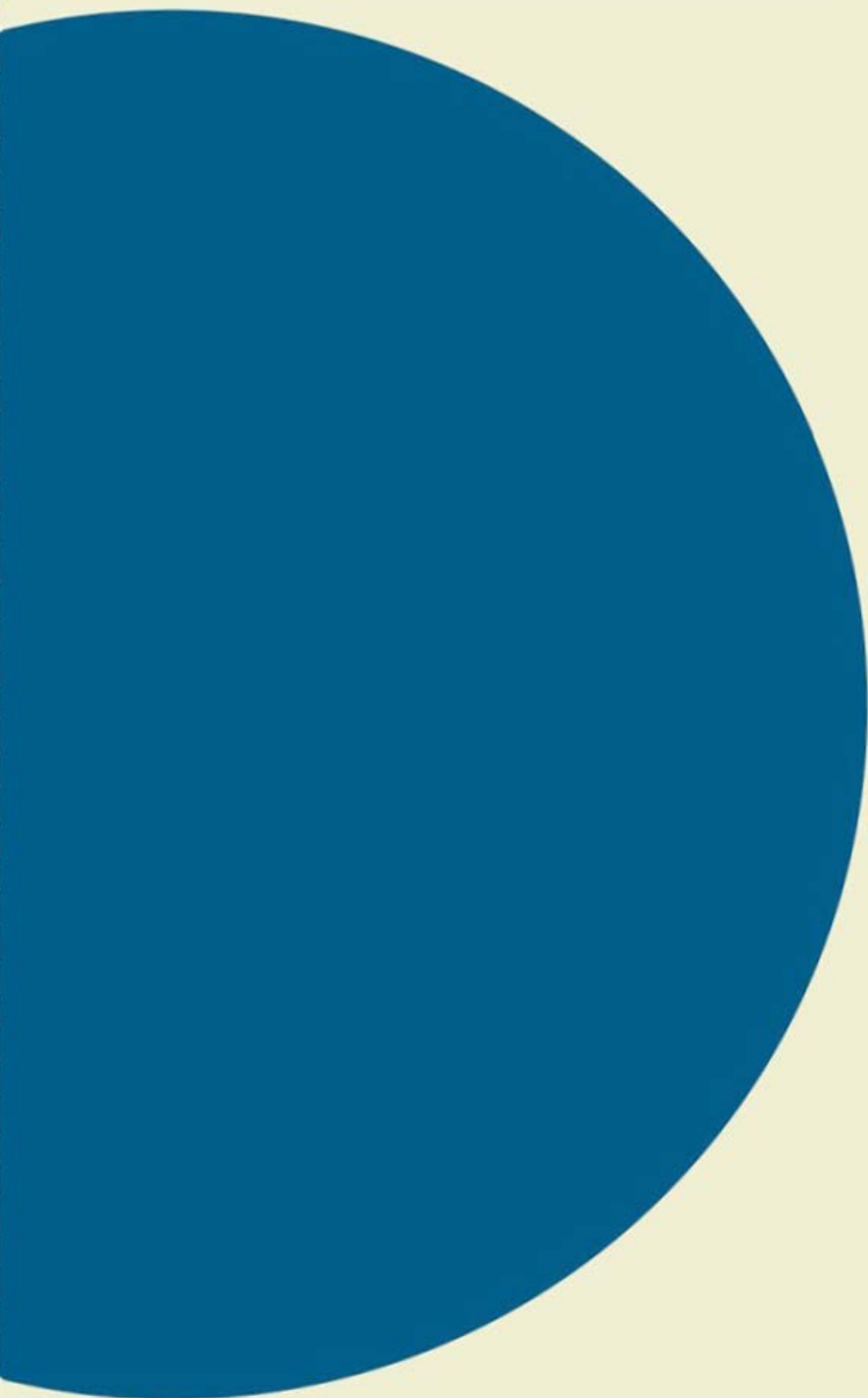


Spektral Gamma Skanning

Korrektion ved afvigende kernecentrering

GEUS Kernelaboratorium

Peter Nymann og Gert Andersen



Spektral Gamma Skanning

Korrektion ved afvigende kernecentrering

GEUS Kernelaboratorium

Peter Nymann og Gert Andersen

Indhold

1. Introduktion	3
2. Forsøgsbeskrivelse	4
2.1 Forsøgsopstilling	4
2.2 Geologisk variation (20m naturlig kerne)	4
2.3 Geometrisk variation (2 diametre, flere centreringer)	4
3. Flow diagram	6
4. Analyse metoder	7
4.1 Spektral kerne gamma log	7
4.2 Præcision af analyse data	8
5. Resultater	10
5.1 Geokemisk variation	10
5.2 Geometrisk variation	15
6. Vurdering og konklusion	20
6.1 Geokemisk variation	20
6.2 Geometrisk variation	20
6.3 Sammenfatning	22
7. Appendiks, måledata	23
7.1 ø3,2 cm kerne	23
7.2 ø6,6 cm kerne	25

1. Introduktion

GEUS opstilling til spektral gamma skanning for h.h.v. total radioaktiv stråling samt kalium, uran og thorium koncentrationer, er designet til skanning af borekerner med den mest hyppige kernediameter $\varnothing 10\text{cm}$. Imidlertid skannes der med mellemrum også andre kerner med mindre diametre. Disse placeres imidlertid i opstillingen som om de havde være $\varnothing 10\text{cm}$, og er som følge af den mindre diameter ikke fuldt centreret i opstillingen. Centrering er en forudsætning for gamma skanningen, og der er derfor behov for at undersøge effekten af de acentriske skanninger.

Ved dette forsøg har det været målet at undersøge effekten af

- kernens diameter
- kernens forskydning fra opstillingens centerlinje
- kernens geokemiske sammensætning.

Forsøgene er udført i efteråret 1997 delvist som en del af uddannelsen ved Institut for anvendt kemi på DTU for Peter Nymann og delvist som en kvalitetskontrol af resultater ved et andet GEUS projekt.

Forsøgene skulle passes ind mellem øvrige aktiviteter ved opstillingen og skulle samtidig afsluttes inden den 19. december 1997, og det har derved været nødvendigt at reducere omfanget af målingerne på bekostning af et statistisk tilfredsstillende resultat.

2. Forsøgsbeskrivelse

Forsøgene blev udført ved at skanne forskellige emner i forskellig afstand til detektorkrystallerne.

Til forsøgene blev der dels anvendt en naturlig borekerne, dels nogle til lejligheden specielt fremstillede prøverør i forskellige tykkelser. Den naturlige kerne blev anvendt for at give et indtryk af geologiens betydning med hensyn til centrering, mens de to rør blev anvendt for at undersøge geometriens betydning.

2.1 Forsøgsopstilling

Ved GEUS spektral gamma skanner anvendes der 2 scintillations krystaller, der er placeret symmetrisk på hver sin side af det spor hvor borekernerne føres gennem på et aluminiumsbånd. Krystallernes vandrette centerlinie er beliggende i højden 6,5cm over bunden af aluminiumsskinnen svarende til centerlinien af en ø10cm kerne i en aluminiumssleeve med 1cm godstykkelse liggende på aluminiumsbåndet.

2.2 Geologisk variation (20m naturlig kerne)

Til undersøgelsen af geologiens indflydelse blev der anvendt en ca. 20 m lang sandkerne (løst sand med tungminerale fra 10 til 30m under terræn ved Skjern). Fra allerede udførte wireline logs i boringen vides det at der er et variende indhold af total tælleal, kalium, uran og thorium i kernens længde retning. Det er således udnyttet at der er en naturlige variation af kernens sammensætning i kernens længderetning til undersøgelsen af effekten af kernens sammensætning.

Kernen blev først skannet liggende i bunden af skinnen, dernæst centreret i forhold til krystallerne. Kernen var anbragt i en bakke med et halvcirkel formet tværsnit. Bakkerne var afpasset præcist efter kernestykkernes længder og halvcirkelen var lige præcist udfyldt med kernematerialet. Der er således tale om en ubrudt kerne med et ensartet og veldefineret tværsnit. Til centreringen blev der fremstillet et antal træklodser. Højdeforskellen mellem centreret placering og placeringen på skinnen var ca 42 mm. Ved skanningen af kernen blev der kun anvendt træklodser.

Kernen blev skannet ved fremløbshastigheden 1cm/min, og med tælleiden 595s svarende til en midlet udlæsning for hver 10cm kerne. Instrumentering og anvendte procedurer fremgår af afsnit 4.

2.3 Geometrisk variation (2 diameter, flere centreringer)

Til undersøgelsen af en effekt af kernens diameter er der anvendt 2 forskellige kerner med hver sin diameter.

Der blev fremstillet 2 forskellige plast rør af ca. 1 meters længde. Det ene rør med diameteren ø3,2 cm og det andet med diameteren ø6,6 cm. De to rør blev fyldt med en blanding af tre jordarter. De tre jordarter var udvalgt således, at de hver indeholdt høje koncentrationer af hhv. Kalium, Uran og Thorium.

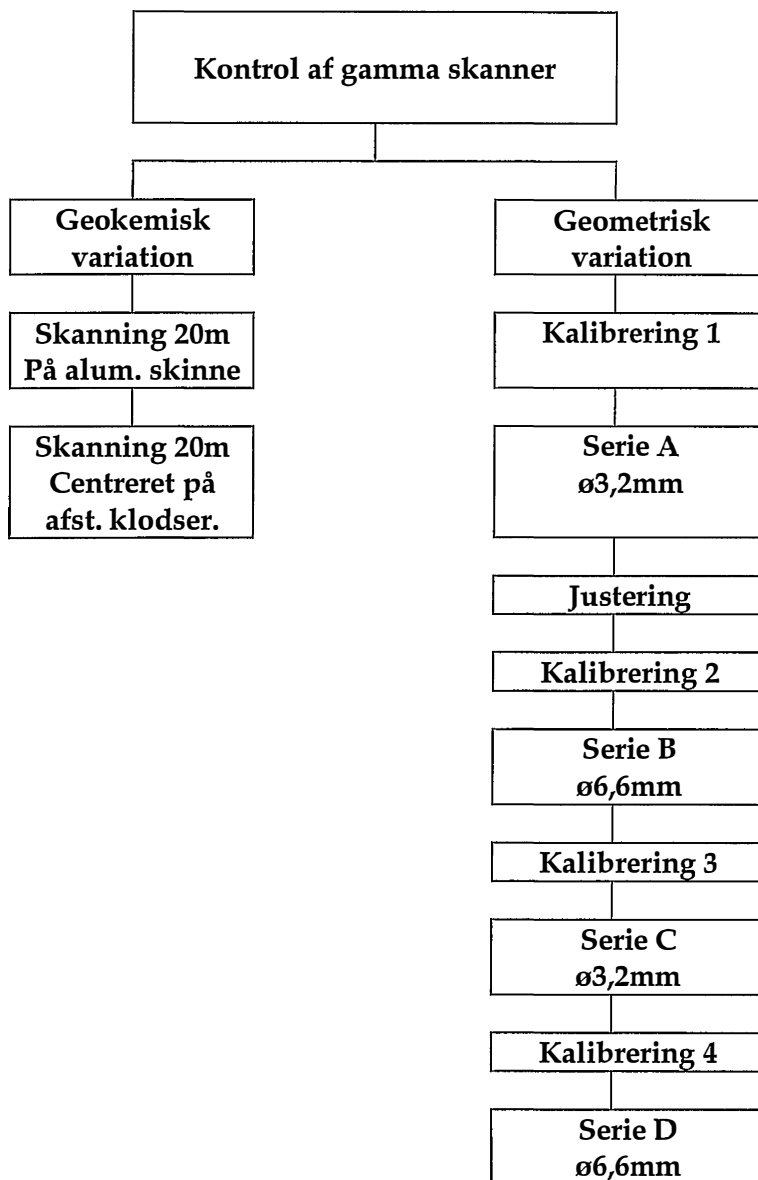
Rørene blev skannet i forskellige højder over aluminiumsbåndet svarende til forskellige afstande mellem detektorkrystallernes og rørenes centerlinier.

Til at indstille højden for rørene blev der fremstillet nogle afstandsklodser af træ. Klodserne blev placeret for enden af rørene, således, at afstanden mellem detektorkrystallerne og klodserne var over 20 cm. Der blev desuden fremstillet et antal plastklodser af forskellig tykkelse der blev placeret under træklodserne.

Kernerne er skannet stationært i $3 \cdot 595$ sek for hver udvalgt højde. Denne tælle tid burde have været øget forholdsmæssigt ved den lille kernediameter. Dette har dog ikke været muligt af hensyn til koordinationen med de øvrige aktiviteter med forsøgsopstillingen. Resultaterne ved skanning af den lille kernediameter er derfor forventeligt koblet til en større statistisk måleusikkerhed. Denne usikkerhed er dog ikke irrelevant, idet borekerner normalt skannes med den samme fremløbshastighed uanset kernedimensionen.

Der er udført en kalibrering med GEUS's certificerede standarder efter hver serie af skanninger af det enkelte rør. Rækkefølgen fremgår af flowdiagrammet i afsnit 3. Som det vil kunne ses af flowdiagrammet er der foretaget en mindre justering af udstyret umiddelbart efter den første serie A.

3. Flow diagram



4. Analyse metoder

Det følgende er en kort beskrivelse af de metoder der er anvendt i GEUS's kerne analyse laboratorium. Mere detaljerede beskrivelser af metoder, instrumenter og beregningsprincipper fremgår af API's anbefalede praksis for kerne analyse procedurer (API RP 40, 1960).

4.1 Spektral kerne gamma log

Den naturlige gamma stråling fra en kerne måles gennem et energi vindue fra 0,5 til 3,0 MeV v.h.j.a. Tl aktiverede NaI scintillationstællere (Bicron), forbundet til en multikanal analysator (Canberra).

Kernen føres med konstant hastighed gennem en blyskærmet tunnel mens gamma aktiviteten måles kontinuert. Denne kontinuerte gamma aktivitet integreres op over en bestemt tælle tid og tilknyttes midten af det kerneinterval der har passeret scintillationstællerne i tælle tiden. Den målte gamma aktivitet korrigeres for baggrundsstrålingen, og for stråling og/eller dæmpning fra eventuelle anvendte sleeves. Måletætheden i loggen er således:

$$\text{Tæthed} = \text{Scannehastighed} * \text{tælle tid}.$$

Dybden for målingerne korreleres til de oplyste dybder for top og bund af kernene. Kerne med recovery mindre end 100% samles og scannes som ét kernestykke, og loggene for de pågældende kernestykker strækkes efterfølgende i forhold de oplyste kernelængder. Måletætheden bliver derved mindre ved kerner med recovery under 100%.

Gamma aktiviteten angives i impulser pr. minut (cpm) ved den aktuelle kerne diameter. Den følgende ligning giver et empirisk forhold mellem disse tællinger (GEUS-cpm) og GAPI enheder. Ligningen er kun vejledende:

$$\text{GAPI} = \text{GEUS-cpm} * (10\text{cm}/d)^2 / 18,2$$

hvor d er kerner diameteren i cm.

Strålingen fra indholdet af kalium, uran og thorium måles i separate energi vinduer. Koncentrationerne beregnes ud fra kalibreringer mod syntetiske standarder bestående af cement spiket med radioaktive mineraler i henfaldsligevægt. Koncentrationerne beregnes i vægtforhold som hhv. % kalium, ppm uran og ppm thorium. Koncentrationerne beregnes ud fra den nominelle kerner diameter samt en estimat densitet.

Præcisionen af målingerne fra spektral kerne gamma loggen fremgår nedenfor.

4.2 Præcision af analyse data

Reproducerbarheden ved måling af total gamma aktivitet er beregnet ud fra tælle statistik. Den følgende tabel viser reproducerbarheden af tælltallene ved standard afvigelsen 2 ved tælltiden 595 sek.

Tælletal (cpm)	Reproducerbarhed (cpm)
125	7,1
250	10,0
500	14,2
1000	20,1
2000	28,4
4000	40,2

Reproducerbarhed ved beregning af koncentration af uran, thorium og kalium ud fra gamma aktiviteten afhænger af koncentrationen. Tabellen nedenfor viser denne sammenhæng ved høje og lave koncentrationer. De angivne værdier for de lave koncentrationer er samtidig detektionsgrænserne (LLD) for disse stoffer.

Ved scanning af ø10cm borekerner angives som standard reproducerbarheden ved skanning af laboratoriets certificerede ø10cm standarder. Reproducerbarhed beregnes ud fra standard afvigelsen ved replikat analyse af kalibreringsstandarder. Værdierne for normal til højt koncentrationsniveau beregnes som den gennemsnitlige reproducerbarhed for 3 standarder som dækker et bredt koncentrationsinterval. Værdierne for lavt koncentrationsniveau beregnes som den gennemsnitlige reproducerbarhed for 2 standarder med lave koncentrationer. Reproducerbarhed rapporteres på 1 sigma niveau.

Ved de 4 kalibreringer i det aktuelle forsøg er der fundet nedenstående værdier for forsøgsopstillingens reducerbarhed:

Kalibrering 1

	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Reproducerbarhed for norm. til høje værdier	0,0226	0,2837	0,6748
Reproducerbarhed for lave værdier (LLD)	0,0133	0,2143	0,0528

Kalibrering 2

	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Reproducerbarhed for norm. til høje værdier	0,0588	0,4924	0,6144
Reproducerbarhed for lave værdier (LLD)	0,0076	0,0691	0,2253

Kalibrering 3

	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Reproducerbarhed for norm. til høje værdier	0,0959	0,9007	0,6998
Reproducerbarhed for lave værdier (LLD)	0,0108	0,1821	0,2022

Kalibrering 4

	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Reproducerbarhed for norm. til høje værdier	0,0315	0,5374	0,6095
Reproducerbarhed for lave værdier (LLD)	0,0090	0,2461	0,2956

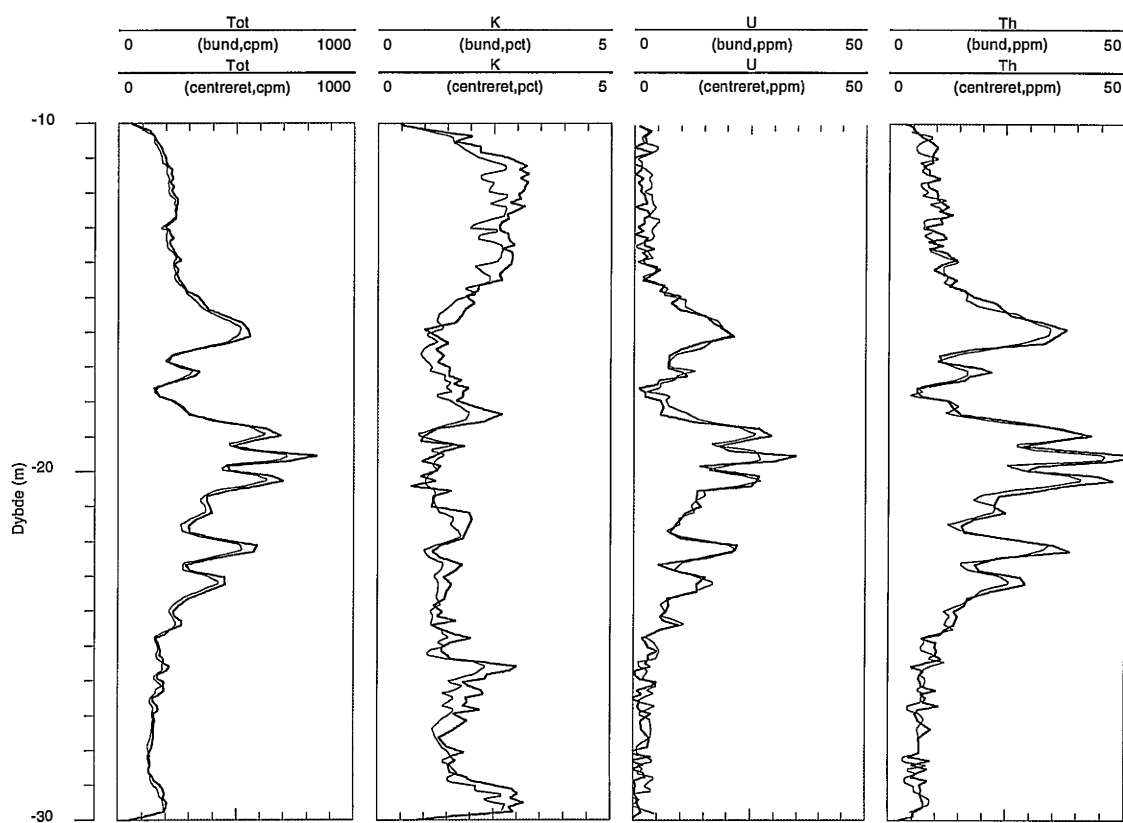
Målingerne fra forsøget er imidlertid ikke fra ø10cm kerner, og udtrykkene for reproducerbarheden kan derfor ikke anvendes som mål for sikkerheden/usikkerheden. I stedet er standard afvigelsen benyttet som mål for målingernes præcision.

Data er derfor præsenteret som den målte værdi +/- standard afvigelsen.

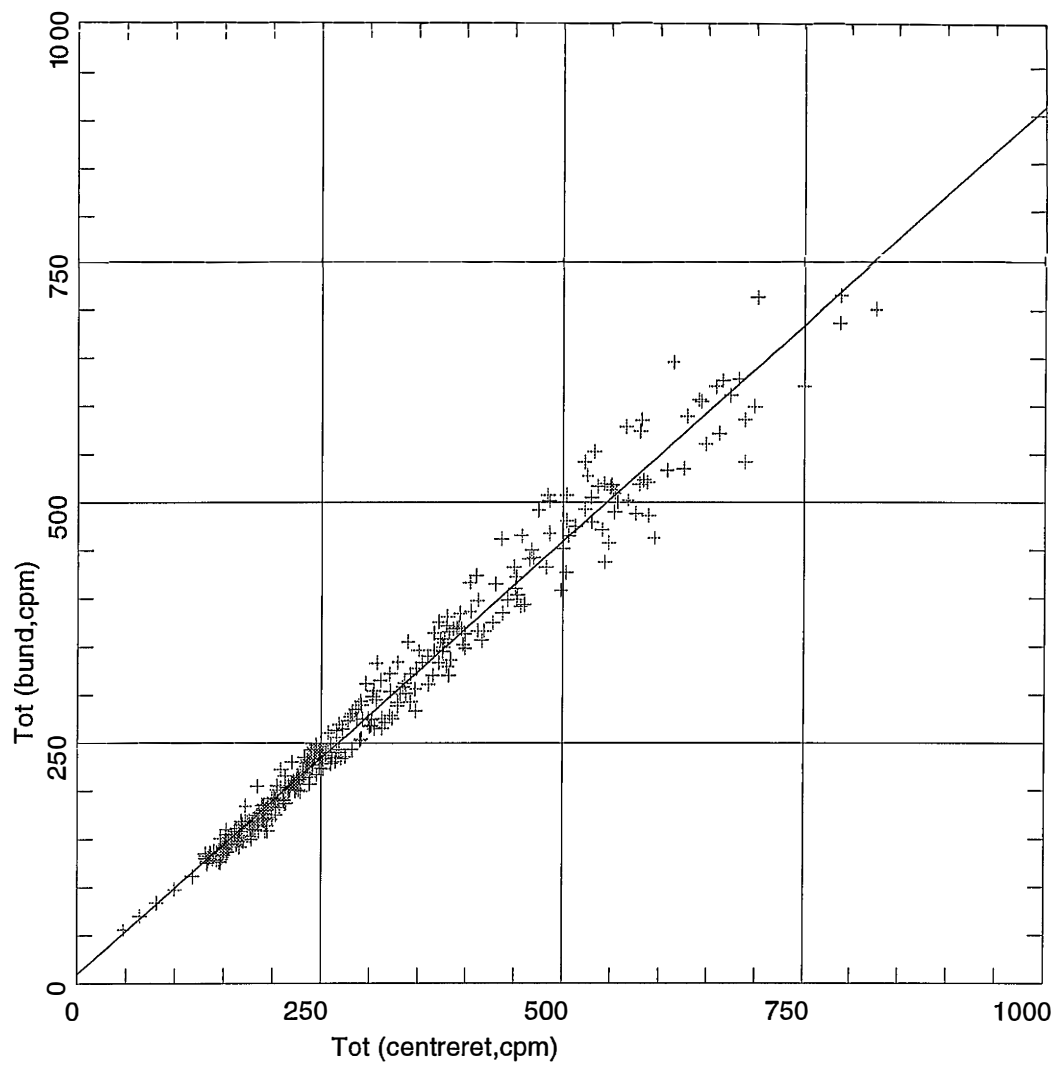
5. Resultater

5.1 Geokemisk variation

Resultatet af skanningen af Skjern kernen h.h.v. centreret og med 42 mm forskydning fra opstillingens centerlinie (regnet fra halvdelen af tykkelsen af den halvcirkel formede kerne) kan ses af plottet nedenfor.



De enkelte logspor er krydsplottet parvist i de 4 efterfølgende plots, hvor der tillige er angivet resultaterne af en lineær regressions analyse:



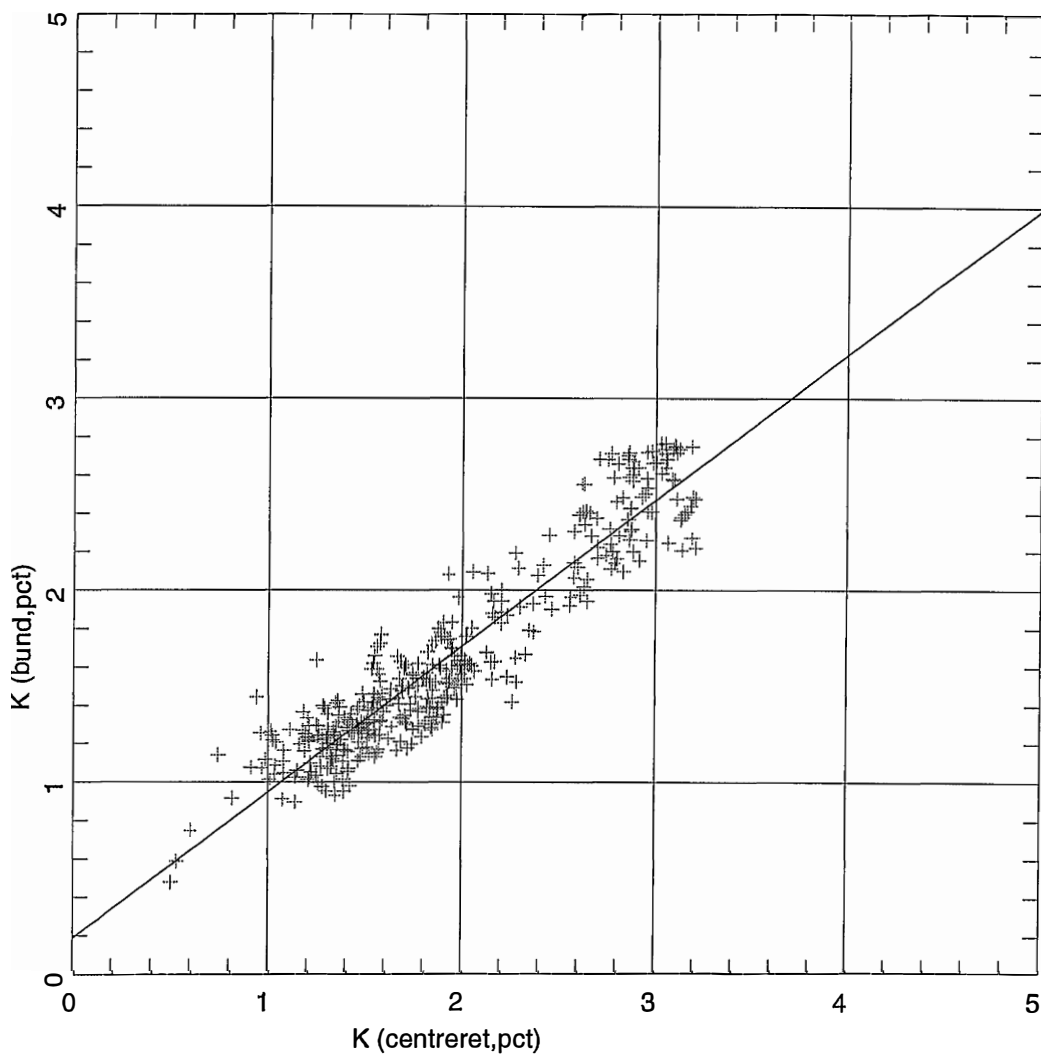
Depth Intervals:

+ -1.92 to -41.92

Slope=.899

Intercept=9.063

R2=.979



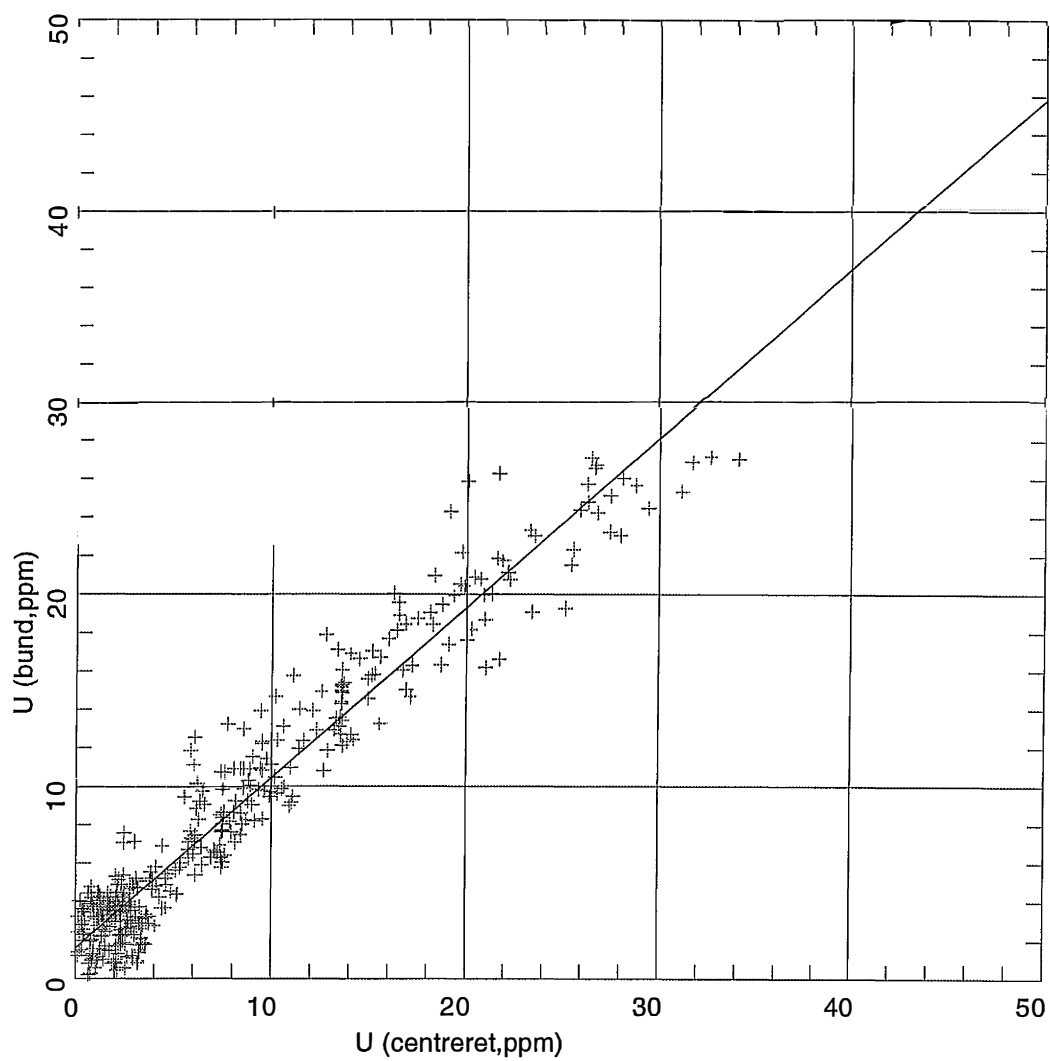
Depth Intervals:

+ -1.92 to -41.92

Slope=.760

Intercept=.188

R2=.879



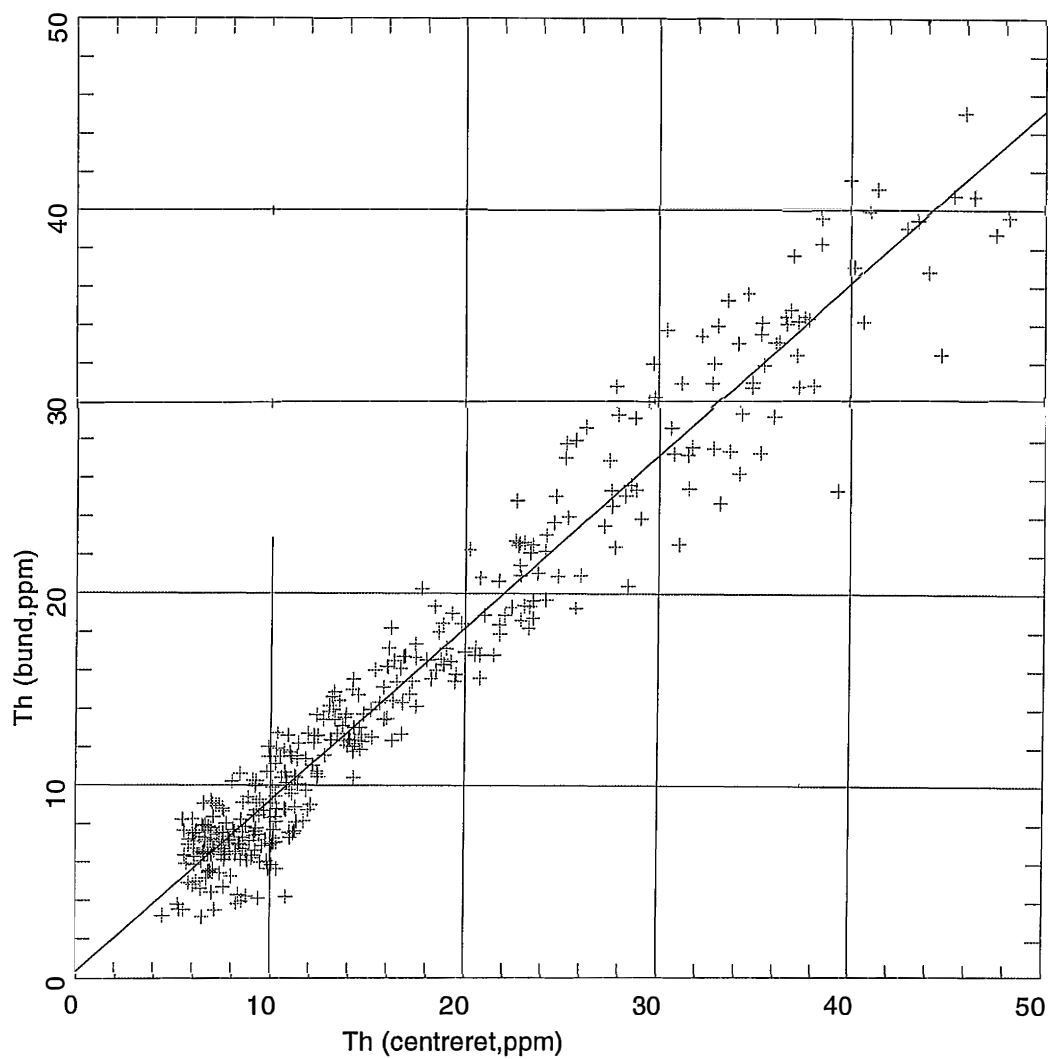
Depth Intervals:

+ -1.92 to -41.92

Slope=.884

Intercept=1.609

R2=.932



Depth Intervals:

+ -1.92 to -41.92

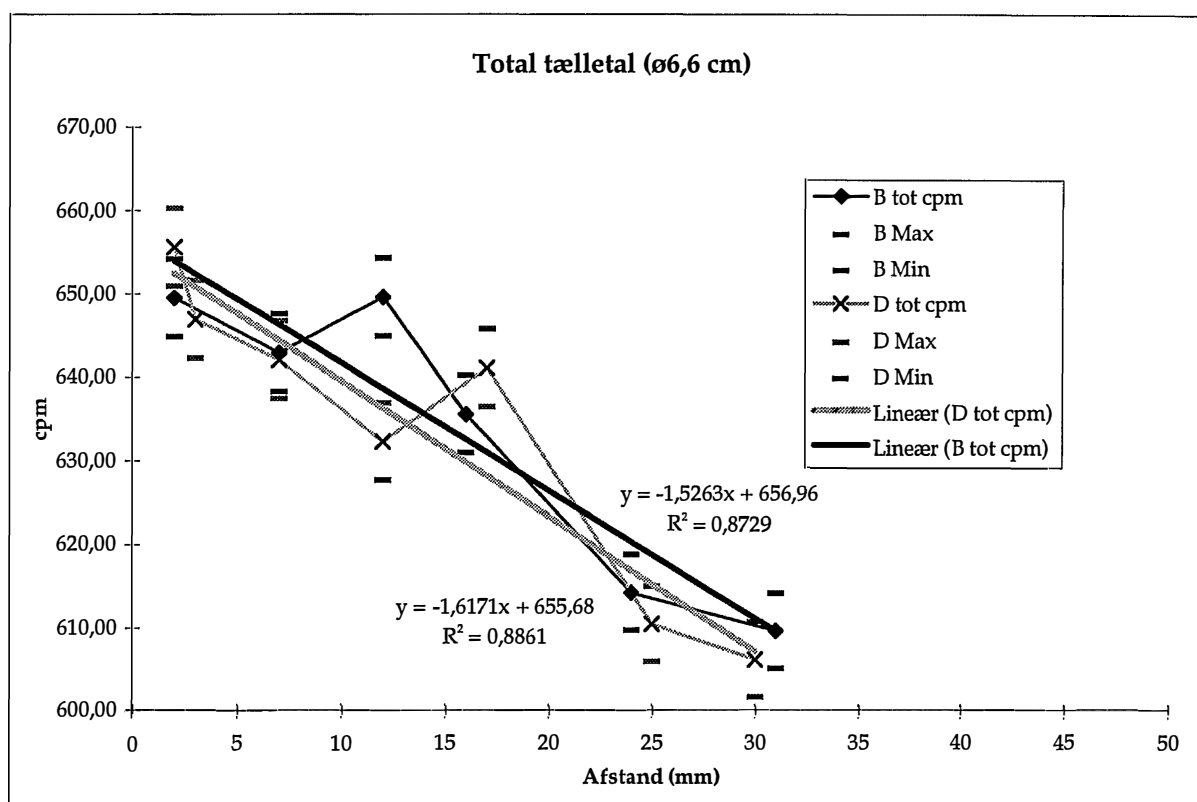
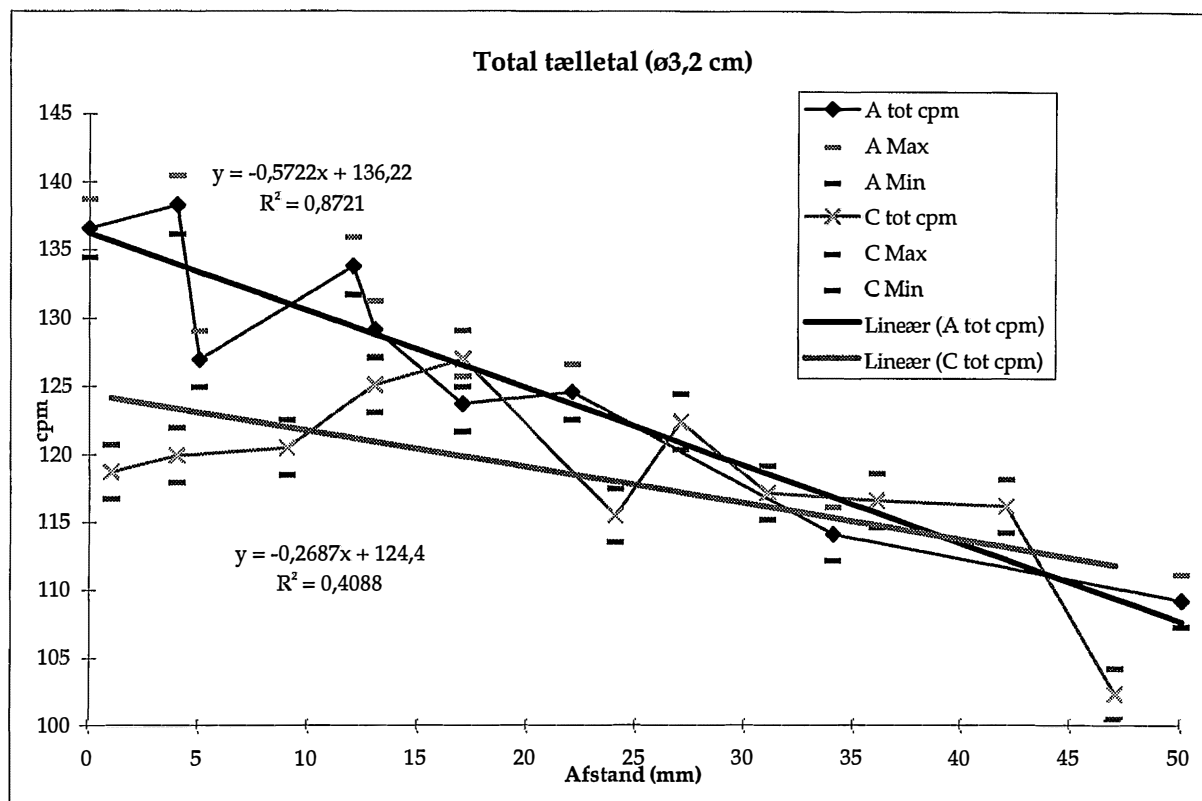
Slope=.898

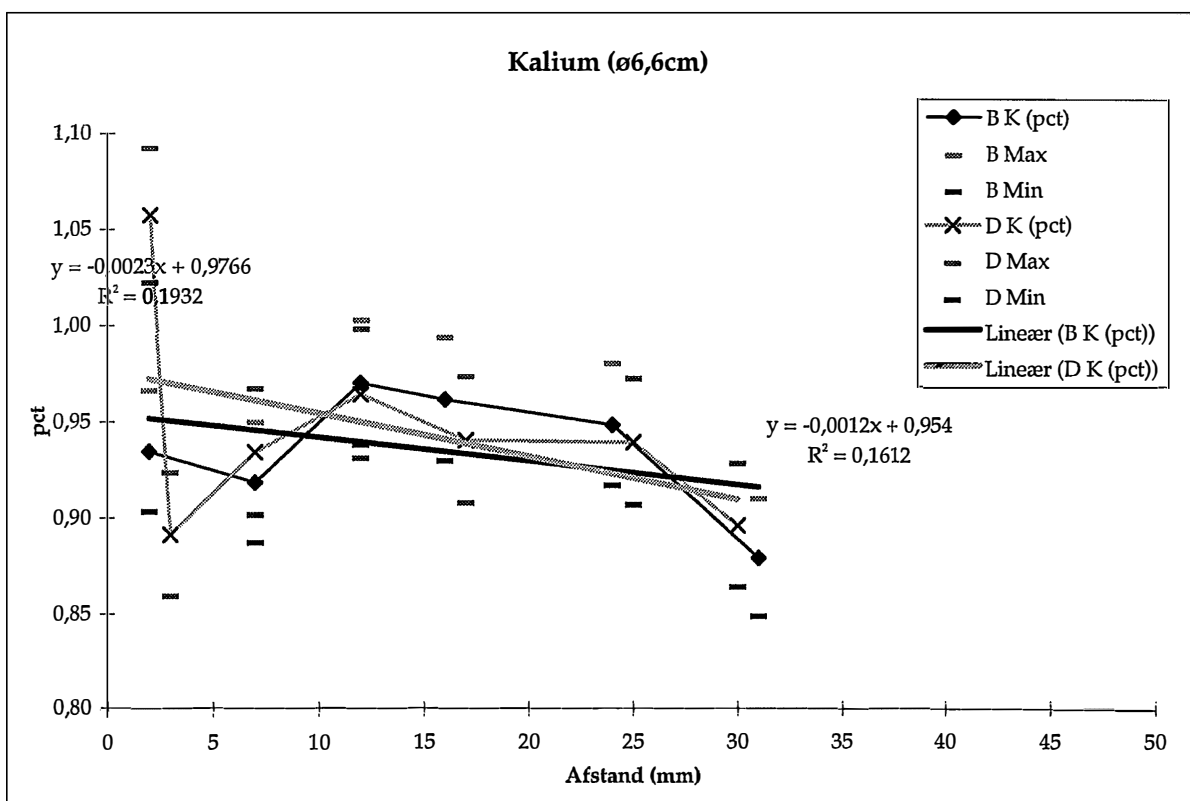
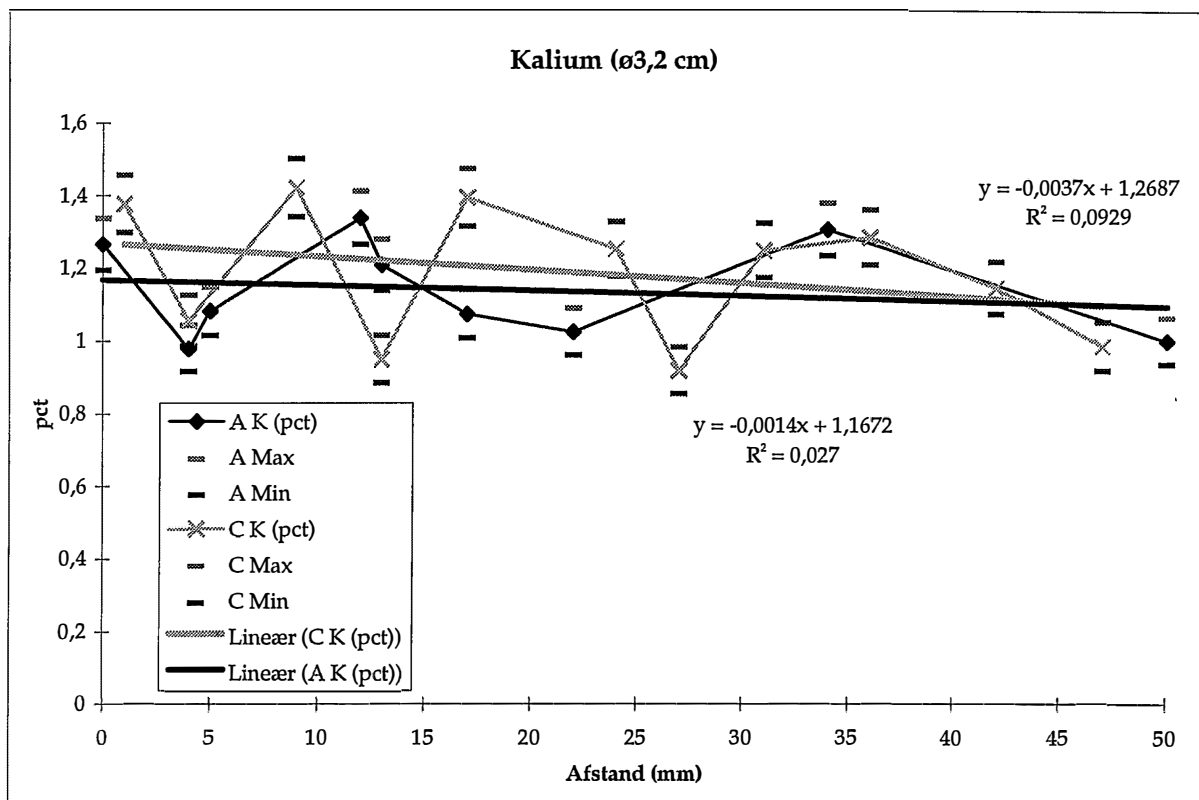
Intercept=.240

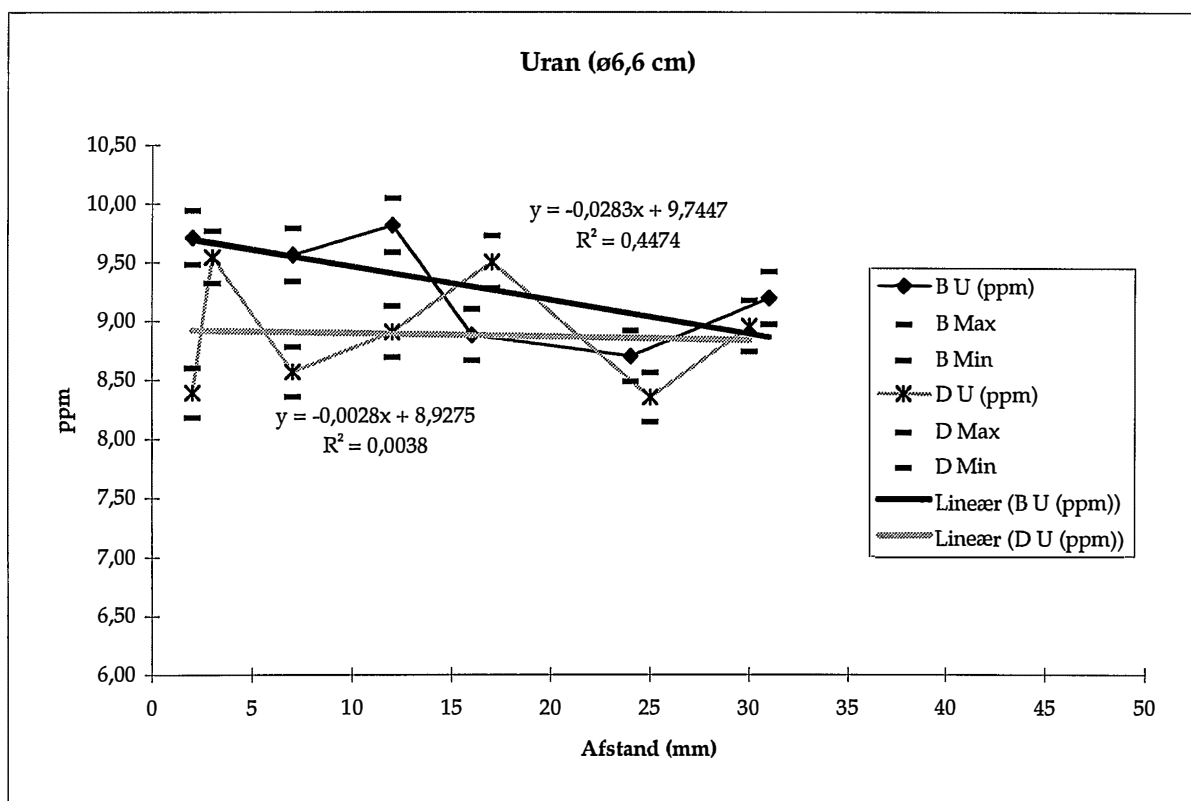
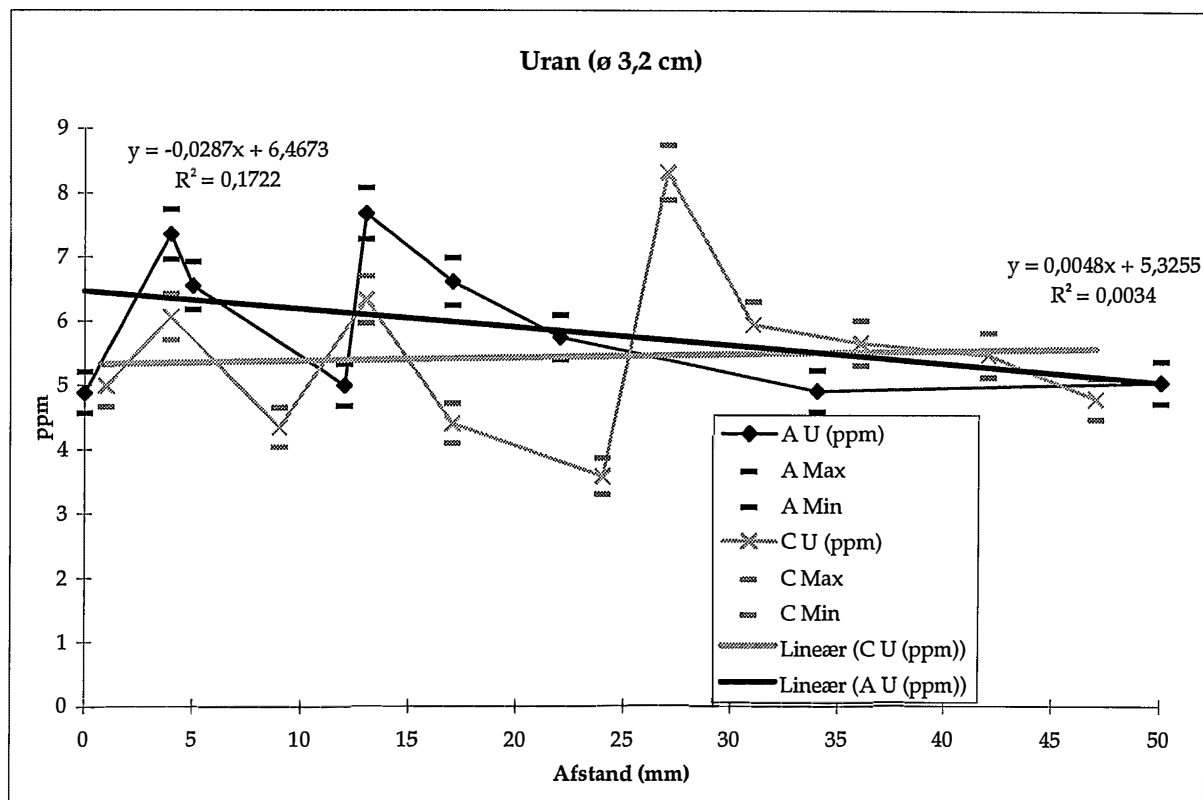
R2=.949

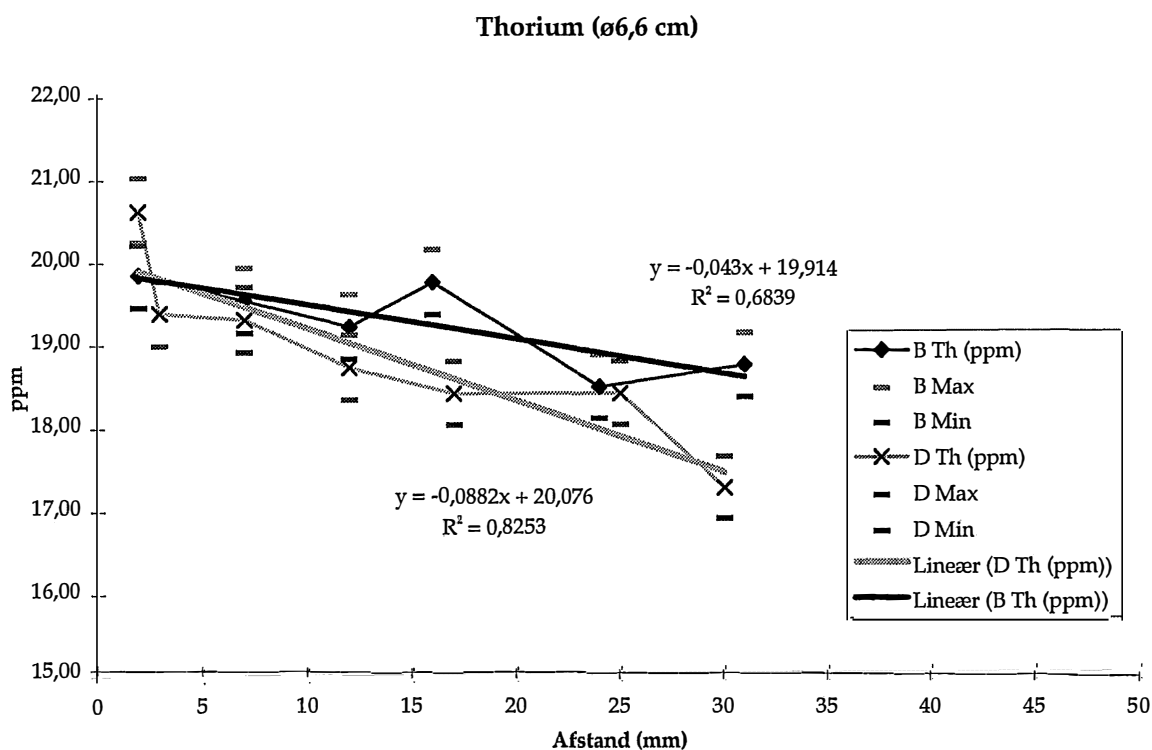
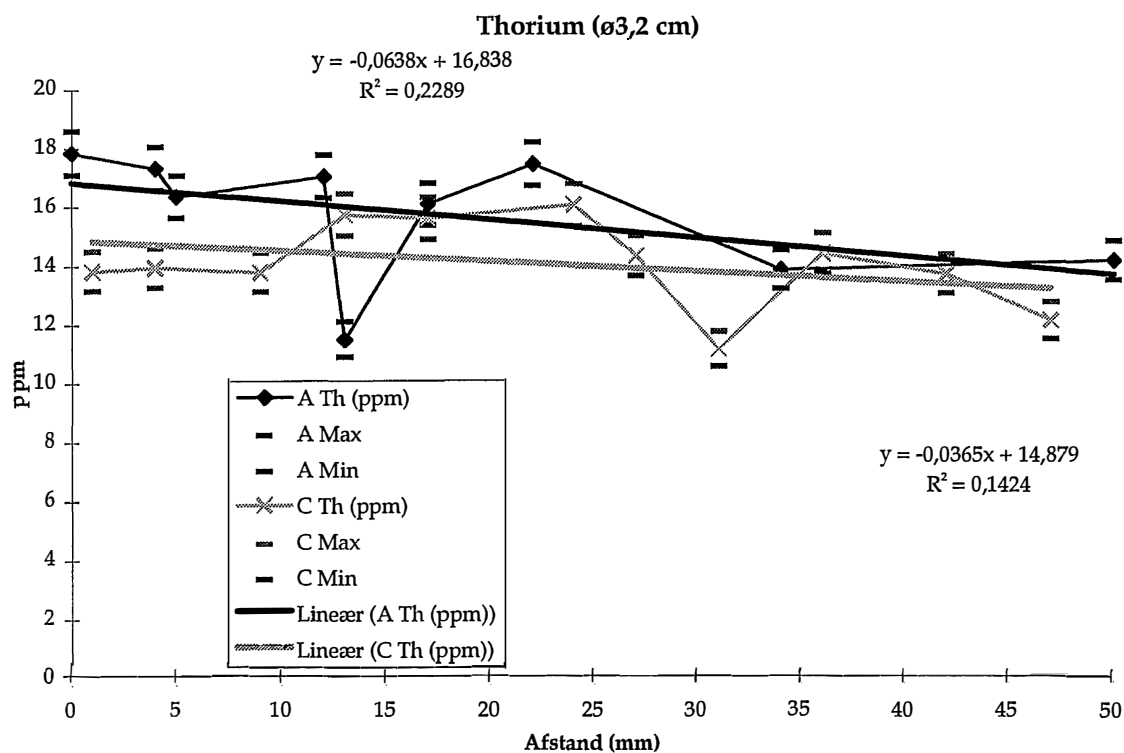
5.2 Geometrisk variation

De beregnede værdier for de enkelte skanninger fremgår af appendiks, og måleserierne er vist nedenfor sammen med en lineær regression for hver enkelt serie. På plottene er der desuden vist den fejlmargen der er beregnet ved standard afvigelsen.









6. Vurdering og konklusion

6.1 Geokemisk variation

Som det kan ses af plottet i afsnit 5.1 er der generelt reducerede værdier for såvel total tælleletal som for Kalium, Uran og Thorium ved skanningen 42mm forskudt fra krystallernes centerlinie.

Ved krydsplottene af loggene (i afsnit 5.1) for de 2 forskellige centreringer kan det ses at der er en lineær sammenhæng mellem loggene og at denne er med en høj korrelations koefficient og med skæring af y-aksen stort set ved $y=0$. Afvigelsen varierer lineært fra ca 10% til 25%, værst ved kalium loggene. Det skal endvidere bemærkes, at kalium loggenene er sammenfaldende i intervallet 19m til 21m, svarende til 3 timers skanning, og at det netop er korrelationen mellem disse 2 logs der har den dårligste korrelations koefficient.

Nedenstående figur viser et sammendrag af regressions analyserne:

	Hældning	Skæring	Korr. koeff.
Total tælleletal (cpm)	0,899	9,063	0,979
Kalium (pct)	0,760	0,188	0,879
Uran (ppm)	0,884	1,609	0,932
Thorium (ppm)	0,898	0,240	0,949

6.2 Geometrisk variation

I tabellen nedenfor er resultaterne fra regressions analyserne vist og normeret (*) til skæring med $y=1$. Hældningen er derpå gjort dimensionsløs (**) ved multiplikation med længden 42mm svarende til den forskydning der blev anvendt ved skanningen af de 20m naturlige kerner fra boringen ved Skjern. Der er derpå midlet (***) mellem de 2 serier fra hver enkelt kerne, og der er derefter beregnet som den hældningskoefficient (****) der ville fås ved et krydsplot af værdierne fra en centreret kerne og en kerne forskudt 42mm. Dette er gjort for at gøre resultaterne sammenlignelige.

Tabellen bekræfter at tælle tallene generelt falder som funktion af øget forskydning fra centerlinien. Det skal bemærkes, at de målte værdier ofte afviger langt kraftigere fra regressions linien, og at denne afvigelse hyppigt er større end standard afvigelsen.

Ved det totale tælleletal ved ø3,2cm kernen, kan ses der en afvigelse mellem de 2 måleserier der virker systematisk. Målingerne er udført indenfor en 2 timers periode ved den ene måleserie. Der er ingen umiddelbar forklaring på denne afvigelse.

	Hældning (enheder/ mm)	Skæring (enheder)	Norm. hæld. (1/mm) *	Hældning (dim.løs) **	Mid. hæld (dim.løs) ***	Hæld (1-mid.hæld) ****
Tot tællert..						
ø3,2cm A	-0.5722	136.22	-0.0042	-0.18	-0.13	0.87
ø3,2cm C	-0.2687	124.4	-0.0021	-0.09		
ø6,6cm B	-1.5263	656.96	-0.0023	-0.10	-0.10	0.90
ø6,6cm D	-1.6171	655.68	-0.0024	-0.10		
K						
ø3,2cm A	-0.0014	1.1672	-0.0011	-0.05	-0.09	0.91
ø3,2cm C	-0.0037	1.2687	-0.0029	-0.12		
ø6,6cm B	-0.0012	0.954	-0.0012	-0.05	-0.08	0.92
ø6,6cm D	-0.0023	0.9766	-0.0023	-0.10		
U						
ø3,2cm A	-0.0287	6.4673	-0.0044	-0.19	-0.07	0.93
ø3,2cm C	0.0048	5.3255	0.0009	0.04		
ø6,6cm B	-0.0283	9.7447	-0.0029	-0.12	-0.07	0.93
ø6,6cm D	-0.0028	8.9275	-0.0003	-0.01		
Th						
ø3,2cm A	-0.0638	16.838	-0.0037	-0.16	-0.13	0.87
ø3,2cm C	-0.0365	14.879	-0.0024	-0.10		
ø6,6cm B	-0.043	19.914	-0.0021	-0.09	-0.14	0.86
ø6,6cm D	-0.0882	20.076	-0.0043	-0.18		

6.3 Sammenfatning

Nedenstående tabel viser en sammenligning af hældningskoefficienterne fra krydsplottene og fra de beregnede værdier i afsnit 6.2. Tabellen viser at der er overensstemmelse mellem de 2 forsøg m.h.t. total tælleal, uran og thorium, mens der er en noget større afvigelse for kaliums vedkommende.

	Geometrisk variation	Geokemisk variation
	Hæld (1-mid.hæld)	Krydsplot (dim. løs)
Tot tælleal..	0.87 0.90	0.90
K	0.91 0.92	0.76
U	0.93 0.93	0.88
Th	0.87 0.86	0.90

Resultaterne viser, at samtlige målinger som en tommelfingerregel falder med 10% ved en afvigelse på 42mm for en kerne i intervallet $\varnothing 3,2\text{cm}$ til $\varnothing 6,6\text{cm}$.

Hvis der er behov for en mere detaljeret beskrivelse, så anbefales det at anvende de korrektionsfaktorer der fås fra den geokemiske variation p.g.a. den store mængde data der ligger til grund for regressionsanalyserne.

Hvis bedre overensstemmelse mellem forsøgene skulle opnås, bør de geometriske forsøg gentages med langt større tællealder, og det bør overvåges om forsøgsomstændighederne er stabile. F.eks. om der er temperaturstabilitet, eller om det elektroniske udstyr er stabilt.

7. Appendiks, måledata

7.1 ø3,2 cm kerne

Nedenfor ses tabeller for hver af de 4 parametre, total tælleletal og Kalium-, Uran- og Thoriumkoncentrationer angivet for hver af de 4 måleserier A, B, C og D. De viste data er beregnet på grundlag af tællinger i 3*595 sek. Ved beregningen af Kalium, Uran og Thorium er der anvendt en vinduessætning "C" i GEUS databehandlings procedure svarende til prøver med højt indhold af Kalium, Uran og Thorium.

Total tælleletal

Serie A				
Afstand	tot cpm	Std. afv.	Max	Min
50	109,18	1,92	111,09	107,26
34	114,05	1,96	116,01	112,09
22	124,50	2,05	126,55	122,46
17	123,63	2,04	125,67	121,59
13	129,14	2,08	131,23	127,06
12	133,78	2,12	135,90	131,66
5	126,99	2,07	129,06	124,93
4	138,29	2,16	140,45	136,13
0	136,57	2,14	138,72	134,43

Serie C				
Afstand	tot cpm	Std. afv.	Max	Min
47	102,32	1,85	104,18	100,47
42	116,10	1,98	118,08	114,13
36	116,54	1,98	118,51	114,56
31	117,08	1,98	119,06	115,09
27	122,32	2,03	124,34	120,29
24	115,43	1,97	117,40	113,46
17	126,96	2,07	129,02	124,89
13	125,07	2,05	127,12	123,02
9	120,47	2,01	122,48	118,46
4	119,93	2,01	121,94	117,93
1	118,72	2,00	120,72	116,72

Kalium

Serie A				
Afstand	K (pct)	Std. afv.	Max	Min
50	1,00	0,06	1,06	0,94
34	1,31	0,07	1,38	1,24
22	1,03	0,06	1,09	0,96
17	1,07	0,07	1,14	1,01
13	1,21	0,07	1,28	1,14
12	1,34	0,07	1,41	1,27
5	1,08	0,07	1,15	1,01
4	0,98	0,06	1,04	0,92
0	1,27	0,07	1,34	1,19

Serie C				
Afstand	K (pct)	Std. afv.	Max	Min
47	0,99	0,07	1,05	0,92
42	1,15	0,07	1,22	1,07
36	1,29	0,08	1,36	1,21
31	1,25	0,08	1,32	1,17
27	0,92	0,06	0,98	0,85
24	1,25	0,08	1,33	1,18
17	1,39	0,08	1,47	1,32
13	0,95	0,07	1,02	0,88
9	1,42	0,08	1,50	1,34
4	1,06	0,07	1,12	0,99
1	1,38	0,08	1,46	1,30

Uran

Serie A				
Afstand	U (ppm)	Std. afv.	Max	Min
50	5,03	0,33	5,36	4,71
34	4,90	0,32	5,22	4,57
22	5,73	0,35	6,08	5,39
17	6,61	0,37	6,98	6,23
-13	7,67	0,40	8,07	7,27
12	4,99	0,32	5,32	4,67
-5	6,55	0,37	6,92	6,17
4	7,35	0,39	7,74	6,95
0	4,88	0,32	5,20	4,56

Serie C				
Afstand	U (ppm)	Std. afv.	Max	Min
47	4,78	0,32	5,10	4,46
42	5,45	0,34	5,80	5,11
36	5,64	0,35	5,99	5,29
31	5,93	0,36	6,29	5,57
27	8,31	0,42	8,73	7,88
24	3,58	0,28	3,86	3,30
17	4,40	0,31	4,70	4,09
13	6,33	0,37	6,70	5,96
9	4,34	0,31	4,64	4,03
4	6,06	0,36	6,42	5,70
1	4,99	0,33	5,32	4,66

Thorium

Serie A				
Afstand	Th (ppm)	Std. afv.	Max	Min
50	14,12	0,67	14,79	13,46
34	13,84	0,66	14,50	13,17
22	17,44	0,74	18,18	16,70
17	16,09	0,71	16,80	15,38
-13	11,49	0,60	12,09	10,89
12	17,03	0,73	17,76	16,30
-5	16,35	0,72	17,07	15,63
4	17,33	0,74	18,06	16,59
0	17,85	0,75	18,60	17,10

Serie C				
Afstand	Th (ppm)	Std. afv.	Max	Min
47	12,07	0,63	12,70	11,45
42	13,66	0,67	14,33	13,00
36	14,39	0,68	15,08	13,71
31	11,12	0,60	11,72	10,52
27	14,32	0,68	15,00	13,64
24	16,05	0,72	16,77	15,32
17	15,60	0,71	16,31	14,89
13	15,72	0,71	16,44	15,01
9	13,78	0,67	14,45	13,11
4	13,95	0,67	14,62	13,27
-1	13,84	0,67	14,51	13,17

7.2 ø6,6 cm kerne

Total tælleletal

Serie B				
Afstand	Tot cpm	Std. afv	Max	Min
31	609,63	4,53	614,16	605,10
24	614,23	4,54	618,78	609,69
16	635,55	4,62	640,17	630,92
12	649,56	4,67	654,23	644,88
7	642,87	4,65	647,52	638,23
2	649,48	4,67	654,15	644,81

Serie D				
Afstand	Tot cpm	Std. afv	Max	Min
30	606,19	4,51	610,70	601,67
25	610,45	4,53	614,98	605,92
17	641,08	4,64	645,72	636,44
12	632,27	4,61	636,88	627,66
7	642,05	4,65	646,69	637,40
3	646,92	4,66	651,59	642,26
2	655,56	4,69	660,26	650,87

Kalium

Serie B				
Afstand	K (pct)	Std. afv	Max	Min
31	0,88	0,03	0,91	0,85
24	0,95	0,03	0,98	0,92
16	0,96	0,03	0,99	0,93
12	0,97	0,03	1,00	0,94
7	0,92	0,03	0,95	0,89
2	0,93	0,03	0,97	0,90

Serie D				
Afstand	K (pct)	Std. afv	Max	Min
30	0,90	0,03	0,93	0,86
25	0,94	0,03	0,97	0,91
17	0,94	0,03	0,97	0,91
12	0,96	0,03	1,00	0,93
7	0,93	0,03	0,97	0,90
3	0,89	0,03	0,92	0,86
2	1,06	0,03	1,09	1,02

Uran

Serie B				
Afstand	U (ppm)	Std. afv	Max	Min
31	9,20	0,22	9,42	8,97
24	8,70	0,22	8,92	8,49
16	8,88	0,22	9,10	8,67
12	9,81	0,23	10,04	9,58
7	9,56	0,23	9,79	9,33
2	9,71	0,23	9,94	9,48

Serie D				
Afstand	U (ppm)	Std. afv	Max	Min
30	8,96	0,22	9,17	8,74
25	8,36	0,21	8,56	8,15
17	9,50	0,22	9,72	9,28
12	8,91	0,22	9,13	8,69
7	8,57	0,21	8,78	8,36
3	9,54	0,22	9,77	9,32
2	8,39	0,21	8,60	8,18

Thorium

Serie B				
Afstand	Th (ppm)	Std. afv	Max	Min
31	18,72	0,39	19,11	18,34
24	18,47	0,38	18,85	18,09
16	19,74	0,40	20,14	19,34
12	19,21	0,39	19,60	18,82
7	19,53	0,39	19,93	19,14
2	19,85	0,40	20,25	19,45

Serie D				
Afstand	Th (ppm)	Std. afv	Max	Min
30	17,24	0,37	17,62	16,87
25	18,39	0,38	18,78	18,01
17	18,40	0,38	18,78	18,01
12	18,72	0,39	19,11	18,33
7	19,30	0,39	19,69	18,91
3	19,38	0,39	19,78	18,99
2	20,62	0,41	21,03	20,21